

Solar erythemal ultraviolet radiation

analysis of swiss measurements and modelling

Doctoral Thesis

Author(s):

Renaud, Anne Sophie

Publication date:

1998

Permanent link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-001981867>

Rights / license:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#)

Diss. ETH No. 12788

Solar Erythemat Ultraviolet
Radiation.
Analysis of Swiss Measurements
and Modelling

A dissertation submitted to the
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY
(ETH)
ZÜRICH

for the degree of
DOCTOR OF NATURAL SCIENCES

presented by
ANNE SOPHIE RENAUD
Ing. Dipl. Math. EPFL
born June 14, 1967
citizen of Mont-sur-Rolle (VD), Switzerland

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. A. Waldvogel, examiner
Dr. J. Staehelin, co-examiner
Dr. C. Fröhlich, co-examiner

1998

Abstract

Small amounts of solar ultraviolet (UV) radiation are beneficial for people and essential in the production of vitamin D₃. Excessive UV exposure may lead to damage of the skin, eyes and the immune systems of humans and animals, as well as of terrestrial plants and aquatic systems. The discovery of the Antarctic ozone hole and the decrease of the ozone layer in the mid-latitudes have increased concern about the level of UV radiation.

When the solar extraterrestrial UV radiation enters the atmosphere, it interacts with the atmospheric constituents (air molecules, aerosol particles, droplets and ice particles). The variability in the different constituents as well as the position of the sun in the sky lead to the variability of radiation received on the ground.

The erythral UV radiation is defined by the integral over the UV wavelengths of the irradiance multiplied by the erythral action spectrum (carcinogenesis effectiveness).

In the present work, erythral radiation measurements and radiative transfer calculations are analysed to estimate qualitative and quantitative impacts of changes in the atmospheric ozone content, aerosol particle loading, surface reflectance, altitude and cloud cover. The main data set is composed of the global, direct and diffuse erythral UV irradiance measured at Davos (1610 m a.s.l.) and Payerne (490 m a.s.l.) since May 1995 (instrument: UV-Biometer Solar Light, model 501, 2-minute average values). Radiative transfer calculations are performed by using the model Tropospheric Ultraviolet-Visible (TUV).

The two most influencing parameters on clear-sky days are the solar zenith angle and the total ozone amount. Global erythral irradiance is at Davos by factor 11.5 larger at 30° than at 70° solar zenith angle (300 DU ozone amount). For comparison, a decrease in total ozone from 360 to 240 DU leads to an increase by a factor of 1.4 at 30° solar zenith angle. The increase in erythral radiation for a decrease in total ozone amount depends strongly on the zenith angle as well as on the total ozone amount.

Variation in the aerosol content influences the distribution of global irradiance into direct and diffuse irradiance. However, erythral global irradiance varies only by maximal 5% between days with very low and very high aerosol

turbidity at Davos.

If the ground is covered by snow on clear-sky days at Davos, erythral irradiance increases by 15 to 25% due to multiple reflections between the surface and the atmosphere. This relative increase may reach 80% on overcast days.

The impact of clouds on radiation is highly variable (attenuation as well as enhancements). On overcast days at Davos with a snow free surface, erythral UV radiation is reduced to a level which ranges between 8% (very thick cloud cover) and 70% (thin cloud layer) relative to clear sky. Under a broken cloud cover, the irradiance varies strongly and may be larger than the clear-sky value because of reflections on cloud sides.

The incidence of skin cancer strongly increased in the industrialized countries in the last decades, and cannot be explained by an increase in the UV radiation received on the ground. It has been shown to be due to increased exposure to sun light. The Swiss operational UV Index forecast model (collaboration with the Swiss Meteorological Institute) aims at raising public awareness regarding the risk of excessive exposure to UV radiation.

Résumé

Le rayonnement solaire ultraviolet (UV), en quantité limitée, est bénéfique aux êtres humains, et même essentiel pour la production de la vitamine D₃. Une surexposition peut toutefois altérer la peau, les yeux et le système immunitaire des humains et des animaux, ainsi que des plantes et des systèmes aquatiques. La découverte du trou d'ozone au-dessus de l'Antarctique et la diminution de la couche d'ozone dans les moyennes latitudes ont provoqué une prise de conscience concernant le rayonnement UV.

Lorsque le rayonnement solaire UV pénètre dans l'atmosphère, il interagit avec ses divers constituants (molécules d'air, particules d'aérosol, gouttelettes et cristaux de glace). La variabilité du rayonnement au sol est due à la variabilité des différents constituants de l'atmosphère et à la position du soleil dans le ciel.

Le rayonnement ultraviolet erythème est défini par l'intégrale de l'intensité du rayonnement multipliée par la sensibilité spectrale de la peau ("erythema action spectrum", sensibilité associée à la carcinogénèse).

Dans le présent travail, nous analysons des mesures de rayonnement erythème et des résultats de transfert radiatif afin d'estimer les effets qualitatifs et quantitatifs des variations de l'ozone atmosphérique, des particules d'aérosol, de l'albédo du sol, de l'altitude et des nuages. Les mesures du rayonnement erythème direct, diffus et global à Davos (1610 m) et à Payenne (490 m) depuis mai 1995 (instrument: UV-Biometer Solar Light, model 501, enregistrement des moyennes sur deux minutes) constituent les données principales du présent travail. Les résultats de transfert radiatif sont obtenus avec le modèle "Tropospheric Ultraviolet-Visible" (TUV).

Les deux paramètres les plus importants qui déterminent le rayonnement erythème lorsqu'il n'y a pas de nuages sont l'angle au zénith du soleil et l'ozone. L'intensité erythème globale à Davos est 11,5 fois plus grande avec un angle au zénith de 30° qu'avec un angle au zénith de 70° (300 DU d'ozone). A titre de comparaison, une diminution de l'ozone de 360 à 240 DU avec un angle au zénith de 30° multiplie le rayonnement par 1,4. L'augmentation du rayonnement erythème lors d'une diminution de l'ozone dépend fortement de l'angle au zénith ainsi que de la quantité initiale d'ozone.

La quantité de particules d'aérosol agit principalement sur la propor-

tion entre intensité directe et intensité diffuse du rayonnement. A Davos, l'intensité globale du rayonnement erythème varie au maximum de 5% seulement entre les jours avec un très faible et les jours avec un très grand trouble atmosphérique.

Lorsque la surface est recouverte de neige les jours sans nuages à Davos, l'intensité du rayonnement erythème augmente de 15 à 25% en raison des réflexions multiples entre le sol et l'atmosphère. Les jours couverts, l'augmentation due à la neige peut atteindre 80%.

L'influence des nuages sur le rayonnement est très variable (atténuation et intensification). Durant les jours couverts et sans neige, le rayonnement erythème est réduit à Davos à un niveau qui varie entre 8% (couche nuageuse très épaisse) et 70% (fine couche nuageuse) de la valeur par temps clair. Sous un ciel avec des nuages déchiquetés, le rayonnement varie fortement et peut même être plus grand que la valeur par temps clair s'il y a réflexion sur des faces de nuages.

Depuis quelques dizaines d'années, on observe une forte augmentation du nombre de cancers de la peau dans les pays industrialisés. Cette augmentation ne peut pas être expliquée par une augmentation du rayonnement UV au sol. Elle est due à l'augmentation de l'exposition au soleil. La prévision de l'index UV en Suisse (collaboration avec l'Institut Suisse de Météorologie) a pour but de rendre les gens conscients des risques liés à une surexposition au rayonnement UV.

Zusammenfassung

Kleine Dosen an ultravioletter (UV) Strahlung sind gesund für die Menschen und sogar wesentlich für die Produktion von Vitamin D₃. Zuviel Sonneneinstrahlung kann die Haut, die Augen und das Immunsystem von Mensch und Tier, sowie Pflanzen und aquatischen Systeme schädigen. Die Entdeckung des Ozonlochs über der Antarktis und der Abnahme der Ozonschicht in den mittleren Breiten haben das Bewusstsein hinsichtlich UV-Strahlung geweckt.

Auf dem Weg durch die Atmosphäre ergeben sich verschiedene Wechselwirkungen zwischen der solaren UV-Strahlung und den Luftmolekülen, Aerosolpartikeln, Wolkenwassertropfchen und Eiskristallen. Die Variabilität der Strahlung an der Erdoberfläche ergibt sich aus der Variabilität der verschiedenen Komponenten und aus der Position der Sonne am Himmel.

Die erythemwirksame ultraviolette Strahlung ist definiert als das Integral der Bestrahlungsstärke multipliziert mit der spektralen Sensitivität der menschlichen Haut ("erythral action spectrum", Kanzerogene Wirksamkeit).

In dieser Arbeit werden Messungen der erythemwirksamen Strahlung und Ergebnisse von einem Strahlungstransfermodell untersucht, um die qualitativen und quantitativen Einflüsse des Ozongehalts, der Aerosolpartikel, der Bodenabbedeckung, der Höhe ü. M. und der Wolken abzuschätzen. Messungen der direkten, diffusen und globalen erythemwirksamen UV-Strahlung in Davos (1610 m ü. M.) und in Payerne (490 m ü. M.) seit Mai 1995 (Gerät: UV-Biometer Solar Light, model 501, 2-Minuten Mittelwerte gespeichert) bilden den Hauptdatensatz der vorliegenden Arbeit. Die Ergebnisse des Strahlungstransfermodells basieren auf dem Modell "Tropospheric Ultraviolet-Visible" (TUV).

Der solare Zenithwinkel und der Ozongehalt sind die Parameter, die die erythemwirksame UV-Strahlung bei wolkenlosem Himmel am stärksten beeinflussen. Die globale erythemwirksame Bestrahlungsstärke ist bei einem Zenithwinkel von 30° 11,5 mal grösser als bei einem Zenithwinkel von 70° (300 DU Ozongehalt). Im Vergleich dazu nimmt die Strahlung um einen Faktor 1,4 zu, wenn der Ozongehalt bei einem Zenithwinkel von 30° von 360 auf 240 DU abnimmt. Die Zunahme der erythemwirksamen UV-Strahlung bei abnehmendem Gesamt Ozon hängt stark vom Zenithwinkel und vom Anfangs Ozongehalt ab.

Die Anzahl der Aerosolpartikel wirkt sich hauptsächlich auf das Verhältnis zwischen direkter und diffuser Bestrahlungsstärke aus. In Davos variiert die globale erythemwirksame UV-Strahlung zwischen sehr klaren Tagen und sehr trüben Tagen nur um maximal 5%.

Bei schneebedecktem Boden an wolkenlosen Tagen nimmt die erythemwirksame Bestrahlungsstärke um 15 bis 25% zu. Grund dafür sind Mehrfachreflexionen zwischen dem Boden und der Atmosphäre. An bedeckten Tagen kann die Strahlung aufgrund der Schneebedeckung um bis zu 80% erhöht werden.

Der Einfluss der Wolken auf der Strahlung ist stark variabel, wobei sowohl eine Abnahme als eine Zunahme möglich ist. An bedeckten Tagen ohne Schnee schwächt sich die erythemwirksame UV-Strahlung auf 70% (sehr dünne Wolkenschicht) bis auf 8% (sehr dicke Wolkenschicht). Die Strahlung variiert sehr stark unter einer aufgerissenen Wolkendecke. Wegen Reflexion an den Wolkenseiten kann die erythemwirksame UV-Strahlung grösser sein als beim wolkenlosen Himmel.

Eine Zunahme der Hautkrebsfälle wurde in den Industrieländern seit einigen Jahrzehnten beobachtet. Diese kann nicht mit einer Zunahme der UV-Strahlung am Boden erklärt werden. Sie ist wohl auf die erhöhte Sonnenexposition der Bevölkerung zurückzufinden. Die Vorhersage des UV Index in der Schweiz (Zusammenarbeit mit der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt) strebt an, der Bevölkerung die Gefahren einer Überdosis an Sonnenstrahlung bewusst zu machen.